不同添加剂对杂交构树青贮发酵品质的影响

司丙文[1] 徐文财[2*] 张小利[3] 郭江鹏[4] 刁其玉[1] 屠 焰[1**]

（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081；2.北京乔纳森科技发展有限公司，北京 101309；3.北京市植物保护站，北京 100029；4.北京市畜牧总站，北京 100029）

摘 要:本试验以杂交构树为研究对象，探讨糖蜜、酶菌复合制剂以及防腐剂对杂交构树青贮发酵品质的影响，为新型木本饲料资源的开发利用提供技术参考。试验分为 5 个组，分别为对照组（无添加）、添加霉菌复合制剂组（M 组）、添加糖蜜组（TM 组）、添加霉菌复合制剂+糖蜜组（MTM 组）以及添加防腐剂组（FFJ 组），每组 3 个重复。发酵 60 d。结果表明：1)与对照组相比，各添加剂组的 pH 均显著降低（P<0.05），乳酸含量显著提高（P<0.05），不同程度地提高了发酵品质。2)与对照组相比，M 组、MTM 组及 FFJ 组均显著降低了氨态氮/总氮，其中 FFJ 组的干物质含量显著高于其他各组（P<0.05），而 pH 和氨态氮/总氮显著低于其他各组（P<0.05）。3)与对照组相比，M 组及 MTM 组的酸性洗涤纤维含量显著降低（P<0.05）。综上，在杂交构树青贮中添加糖蜜、酶菌复合制剂及防腐剂，在发酵品质和营养价值方面均有明显的改善，其中 MTM 组和 FFJ 组具有较低的 pH，能更好地保存粗蛋白质和干物质，FFJ 组效果最好，但 MTM 组成本更低些。

关键词:杂交构树；青贮；添加剂

中图分类号：S 文献标识码： 文章编号：

饲料资源短缺是制约畜牧业发展的重要因素之一，大力开发绿色、优质、经济木本饲料

收稿日期：2018-04-20

基金项目：奶牛产业技术体系北京市创新团队专项（BAIC06-2017）

作者简介：司丙文（1975-），男，黑龙江佳木斯人，博士，从事反刍动物营养的研究。E-mail: sibingwen@caas.cn

*同等贡献作者

**通信作者：屠 焰，研究员，博士生导师，E-mail: tuyan@caas.cn

资源对我国畜牧业发展具有重要意义。构树[*Broussonetia papyrifera* （L.）Vent.]又称楮树，桑科植物，雌雄异株的落叶乔木，有的地方称“皮树”、“麻叶树”、“醋桃树”。杂交育种培育出的杂交构树具有适应性强、耐干冷、耐湿热、根系发达、生物量大、耐刈割的特点。构树叶是优质的饲料原料，研究发现构树叶中粗蛋白质含量超过 20%[1]，可与苜蓿媲美，富含氨基酸、维生素和微量元素，是一种极具开发价值的非常规林业蛋白质饲料资源。构树也是一种传统中草药，构树叶中有多种黄酮类化合物、生物碱、多糖、不饱和脂肪酸等活性成分，具有抗菌、抗病毒、抗肿瘤、降血糖、降血压、增强免疫力、延缓衰老等药理活性[2]。国务院扶贫办将构树扶贫工程列入 2015 年我国十项精准扶贫工程之一。近几年，我国加大了规模化推广杂交构树产业力度，“十三五”期间我国杂交构树种植面积将超过 500 万 hm^2。在我国农村长期以来就有用构树叶喂养猪、牛、羊的习惯，由于构树叶蛋白质分子结构复杂，没有经过生物发酵处理的构树叶畜禽食用后消化吸收利用率不高[3]。将全株杂交构树粉碎，添加不同添加剂发酵处理对杂交构树青贮效果的研究报道很少[4]。本文主要探讨不同添加剂对杂交构树青贮发酵品质的影响，为促进杂交构树的大规模种植和综合利用提供理论参考。

1　材料与方法

1.1　材料

青贮原料：2017 年 7 月份采自北京市大兴区人工种植的杂交构树，待株高长至 1.6 m 左右，利用青饲料收获机进行全株收割粉碎，留茬高度为 15~20 cm，粉碎长度 1~2 cm，pH 为 7.35，其营养组成及微生物组成见表 1。

糖蜜：糖蜜为制糖副产品，主要成分为蔗糖，红褐色黏稠液体，干物质含量 50.01%，水溶性糖含量 65.2%（干物质基础）。购于徐州益邦环保科技有限公司。

酶菌复合制剂：主要成分为乳酸菌、纤维素酶、木聚糖酶、β-葡聚糖酶，粉末状。购自宁夏夏盛实业集团有限公司。

防腐剂：主要成分为丙酸钠、亚硝酸钠和六亚甲基四胺，液态。购自德国爱德康集团。

表 1　杂交构树营养组成及微生物组成

Table 1　Nutrient composition and microbiological composition of hybrid paper mulberry

项目 Items	含量 Contents
干物质 DM/(% FW)	21.18
粗蛋白质 CP/(% DM)	18.55
中性洗涤纤维 NDF/(% DM)	44.41
酸性洗涤纤维 ADF/(% DM)	22.14
粗灰分 Ash/(% DM)	11.67
粗脂肪 EE/(% DM)	3.05
可溶性碳水化合物 WSC/(% DM)	4.18
缓冲能 BC/(mE/kg DM)	502.13
乳酸菌 Lactic acid bacteria /(log CFU/g FW)	4.51
酵母和霉菌 Yeast and mycete/(log CFU/g FW)	5.20
好氧细菌 Aerobic bacteria/(log CFU/g FW)	6.81

1.2　试验设计与青贮方法

试验共分 5 组，各组处理情况见表 2。将各组所需青贮剂分别溶于 200 mL 蒸馏水中，充分搅匀后，均匀喷洒到 50 kg 原料中，混合均匀，对照组添加等体积蒸馏水。每 1 000 g 原料装入聚乙烯袋（24 cm×40 cm）中，每个组 3 个重复，用真空封口机（型号 DZ-280/2SD）抽真空封口，室温贮藏 60 d 后开封取样。在制作青贮时，取杂交构树原料样品，带回实验室，-20 ℃保存待检。

表 2　试验设计

Table 2　The design of experiment

组别 Groups	添加剂种类 Type of additive	添加量(鲜重基础) Additive amount (fresh weight basis)
对照 CK	无添加	
M	酶菌复合制剂	植物乳杆菌 1.4×10[11] CFU/t、布氏乳杆菌 6×10[10] CFU/t、纤维素酶 16 800 U/t、木聚糖酶 104 000 U/t、β-葡聚糖酶 96 000 U/t
TM	糖蜜	2%
MTM	酶菌复合制剂+糖蜜	混合添加
FFJ	防腐剂	4 L/t

1.3　测定项目及其方法

1.3.1　营养成分分析

青贮饲料于 60 ℃烘干 48 h，过 1 mm 筛粉碎。干物质、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量采用 AOAC 方法测定。中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量采用范氏纤维素方法[5]测定。

1.3.2　发酵品质分析

青贮袋开启后，准确称取 20 g 杂交构树青贮，加入 180 mL 蒸馏水中，用多功能搅拌机匀质 1 min。匀质液用 4 层纱布过滤，用雷磁 PHS-3C 精密 pH 计测定滤液 pH[6]。

滤液采用苯酚-次氯酸钠比色法测定氨态氮含量[7]。添加了亚硝酸钠和六亚甲基四胺的青贮中的氨态氮含量需要按这些添加剂能产生的最大的氨态氮潜能来校正[8]。如果用氨态氮含量占总氮的比例来表示蛋白质水解度，未加校正的氨态氮含量会夸大蛋白质的水解度[9]。

可溶性碳水化合物含量采用蒽酮-硫酸法[10]测定。

缓冲能采用盐酸、氢氧化钠滴定法[11]测定。

使用 SHIMADZE-10A 型高效液相色谱仪（KC-811 色谱柱；柱温 50 ℃；流速 1 mL/min；

检测波长 210 nm；进样量为 5 μL）分析乳酸、乙酸、丙酸和丁酸的含量[12]。

1.3.3　微生物分析

将 5 g 青贮样品与 45 mL 无菌水混匀，在无菌水中做 10^{-1}~10^{-5} 系列梯度稀释。使用平板涂布法进行菌落培养。乳酸菌在 MRS 培养基上、37 ℃、厌氧条件下培养 48 h；酵母与霉菌在 PDA 培养基上、30 ℃、厌氧条件下培养 24 h；好氧细菌在 NA 培养基上、30 ℃、好氧条件下培养 24 h。以可见菌落数计[13]。

1.4　数据处理与分析

试验数据采用 SAS 9.2 统计软件进行 ANOVA 分析，平均值间差异显著性用 Duncan 氏法进行多重比较，以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2　结果与分析

2.1　青贮前杂交构树主要营养成分和微生物组成

青贮前杂交构树主要营养成分及表面附着微生物组成见表 1，青贮前杂交构树干物质、水溶性碳水化合物及粗脂肪含量较低，分别为 21.18% FW、4.18% DM 和 3.05% DM；粗蛋白质含量和缓冲能值较高，分别为 18.55% DM 和 502.13 mE/kg DM；构树叶表面附着的乳酸菌为 4.51 log CFU/g FW，不足 5 log CFU/g FW，而好氧细菌、酵母和霉菌的数量相对乳酸菌较多，分别为 6.81 和 5.20 log CFU/g FW。

2.2　杂交构树青贮的营养成分

如表 3 所示，对照组的粗蛋白质含量显著低于其他各组（$P<0.05$），FFJ 组的干物质含量显著高于其他各组（$P<0.05$），FFJ 组和 MTM 组的粗蛋白质及粗脂肪含量显著高于其他 3 组（$P<0.05$），M 组的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量显著低于其他各组（$P<0.05$），粗灰分含量各组间无显著差异（$P>0.05$）。

表 3　不同添加剂对杂交构树青贮营养成分的影响

Table 3　Effects of different additives on nutrient content of hybrid paper mulberry silage　%

项目 Items	组别 Groups 对照 CK	M	TM	MTM	FFJ	标准误 SEM	P 值 *P*-value
干物质 DM	21.19^{b}	20.62^{b}	21.32^{b}	20.90^{b}	22.92^{a}	0.241	0.001 9
粗蛋白质 CP	15.97^{c}	16.72^{b}	16.63^{b}	17.84^{a}	17.47^{a}	0.192	0.000 5
粗灰分 Ash	11.57	12.08	11.65	11.69	11.52	0.089	0.325 7
中性洗涤纤维 NDF	45.50^{a}	35.82^{b}	44.77^{a}	44.07^{a}	44.38^{a}	0.973	<0.000 1
酸性洗涤纤维 ADF	29.02^{a}	23.93^{d}	26.10^{b}	25.56^{c}	27.06^{b}	0.466	<0.000 1
粗脂肪 EE	3.34^{b}	3.29^{b}	3.06^{c}	4.12^{a}	4.07^{a}	0.119	<0.000 1

2.3　杂交构树青贮的发酵品质

如表 4 所示，对照组 pH 显著高于其他各组（$P<0.05$），FFJ 组的 pH 最低；与对照组相比，各组的乳酸含量均显著提高（$P<0.05$）；M 组的乙酸含量显著高于其他各组（$P<0.05$）；各组均未有丁酸检出。FFJ 组的氨态氮/总氮显著低于其他各组（$P<0.05$）。

表 4　不同添加剂对杂交构树青贮发酵品质的影响

Table 4　Effects of different additives on fermentation quality of hybrid paper mulberry silage

项目 Items	组别 Groups 对照 CK	M	TM	MTM	FFJ	标准误 SEM	P 值 *P*-value
pH	5.02^{a}	4.80^{b}	4.78^{b}	4.76^{b}	4.53^{c}	0.025	<0.000 1
乳酸 Lactic acid/%	8.73^{b}	10.91^{a}	11.37^{a}	10.99^{a}	10.54^{a}	0.293	0.008 0
乙酸 Acetic acid/%	2.09^{c}	2.91^{a}	2.49^{b}	1.85^{d}	1.89^{d}	0.110	<0.000 1

丙酸 Propionic acid/%	0.11[b]	0.12[b]	0.12[b]	0.07[c]	0.24[a]	0.016	<0.000 1
乳酸/总酸 Lactic acid/total acid	79.75[c]	78.93[c]	80.71[c]	85.16[a]	83.17[b]	0.651	<0.000 1
乙酸/总酸 Acetic acid/total acid	19.23[ab]	20.22[a]	18.42[b]	14.33[c]	14.93[c]	0.664	<0.000 1
丙酸/总酸 Propionic acid/total acid	1.02[b]	0.84[b]	0.86[b]	0.52[c]	1.89[a]	0.126	<0.000 1
氨态氮/总氮 NH_3-N/TN	10.45[a]	9.57[b]	9.98[ab]	8.31[c]	5.59[d]	0.477	<0.000 1

3 讨 论

3.1 添加剂对杂交构树青贮发酵品质的影响

本试验中收割的杂交构树株高约 1.6 m，枝叶幼嫩，干物质含量较低。通常情况下，青贮原料中乳酸菌和水溶性碳水化合物含量越多，越容易青贮成功。一般来说，青贮原料上的乳酸菌数量至少要达到 5 log CFU/g FW 的水平[14]，才能更好地促进发酵进程。

杂交构树青贮原料表面附着的乳酸菌数量为 4.51 log CFU/g FW，水溶性碳水化合物含量为 4.18%，可见杂交构树青贮原料上附生的乳酸菌的数量较少，干物质和水溶性碳水化合物含量低，粗蛋白质含量较高，缓冲能高，属于较难青贮原料。

在本试验中，M 组、TM 组及 MTM 与对照组相比，pH 均有显著降低，乳酸含量显著提高，不同程度地提高了发酵品质，各组中乳酸占总酸的比例高于 70%，均表现为乳酸发酵类型，陈雷等[15]在全株玉米全混合日粮中添加乳酸菌显著改善了发酵品质，同时补充发酵底物葡萄糖、糖蜜可进一步提高发酵品质。同样，Li 等[16]在王草青贮中添加葡萄糖和糖蜜均显著降低了 pH，提高了乳酸含量。这与 Lima 等[17]的报道结果一致，主要是因为糖蜜和酶菌复合制剂的添加直接或间接为乳酸菌提供了更多的发酵底物或增加了乳酸菌的数量，从而产生了更多乳酸。

较高的缓冲能及较低的乳酸生成使得对照组的 pH 下降缓慢，从而未能有效抑制有害菌

对蛋白质的分解；加之原料本身高含水量和高蛋白质含量，造成蛋白质分解较强，因此对照组青贮过程中产生的氨态氮比较多。青贮饲料中氨态氮主要由植物酶对蛋白质的降解和微生物分解利用蛋白质和氨基酸产生[18-19]，氨态氮/总氮反映了青贮饲料蛋白质降解的程度。M组、TM 组和 MTM 组均保持较低的氨态氮/总氮，这可能是由于接种了乳酸菌或增加了发酵底物，产生更多乳酸，促进了 pH 下降，进而抑制了青贮过程中植物蛋白酶和微生物对蛋白质和氨基酸的降解作用，减少了氨态氮的产生[20]。

FFJ 组青贮中加入丙酸钠、亚硝酸钠和六亚甲基四胺组成的混合添加剂，丙酸钠在酸性条件下产生游离丙酸，丙酸钠在酸性介质中对各类霉菌、好氧芽孢杆菌或革兰阴性杆菌有较强的抑制作用，六亚甲基四胺可水解为马尿酸和甲醛，甲醛能使病原体蛋白质变性而发挥非特异性抗菌作用，故 FFJ 组 pH 最低，丙酸占总酸的比例最高，蛋白质降解少，干物质保存最多。陈鹏飞等[9]在光叶紫花苕青贮中加入乳酸菌和由苯甲酸钠、丙酸钠、亚硝酸钠和六亚甲基四胺组成的混合物，降低了 pH 和氨态氮的含量，提高了干物质含量，这也与 Lingvall 等[21]的研究结果一致。

各组青贮中均没有丁酸检出，这可能与杂交构树本身富含黄酮类化合物有关。据报道，每千克构树叶提取物中含 273 mg 黄酮类物质[22]，黄酮类化合物具有很好的抑菌作用，1.0%浓度的构树叶提取物的抑菌和防腐效果优于浓度为 0.1%的苯甲酸钠，0.5%浓度及以上均可抑制细菌和霉菌生长，可见构树中含有黄酮类化合物是一种很好的天然防腐剂[23]。

3.2 添加剂对杂交构树青贮营养物质含量的影响

青贮干物质的损失始于植物细胞的呼吸作用，需氧微生物利用碳源产生水、热量和二氧化碳，破坏分解养分；在构树青贮中添加丙酸钠、亚硝酸钠和六亚甲基四胺，能更快完成 pH 的下降过程，进而抑制青贮过程中植物蛋白酶和微生物对蛋白质和氨基酸的降解作用，减少干物质损失，提高蛋白质含量，同样与对照组相比，添加酶菌复合制剂和糖蜜也显著提高了粗蛋白质的含量。董志浩等[24]在桑叶青贮中添加乳酸菌和发酵底物降低了氨态氮/总氮，

提高了干物质含量。同样，张新平等[25]在苜蓿青贮中添加乳酸菌和纤维素酶，使青贮氨态氮含量显著降低,并保存有较多的粗蛋白质。

在青贮中添加纤维素酶有助于植物细胞壁的分解，使植物纤维成分含量下降，提高牧草的营养价值。Colombatto 等[26]研究了纤维素酶的添加对微生物发酵的影响，其结果表明纤维素酶的增加有助于中性洗涤纤维的降解，这与本试验中 M 组 NDF 和 ADF 的含量显著低于对照组一致。也可能是由于较低的 pH 形成的酸性环境促进了细胞壁成分的酸解作用。

4 结 论

本试验中，在杂交构树青贮中添加糖蜜、酶菌复合制剂及防腐剂，在发酵品质和营养价值方面均有明显的改善；MTM 组和 FFJ 组具有较低的 pH，能更好地保存粗蛋白质和干物质，FFJ 组效果最好。从经济角度出发建议，在杂交构树青贮中添加糖蜜+酶菌复合制剂也能获得优质青贮饲料。

参考文献:

[1] 屠焰,刁其玉,田莉,等.杂交构树营养成分瘤胃降解特点的研究[J].中国畜牧杂志,2009,45(11):38–41.

[2] 朱开梅,刘建楠,顾生玖,等.构树药用活性化学成分及药理临床应用研究进展[J].天然产物研究与开发,2011,17(1):198–201,204.

[3] 陶兴无.接种乳酸菌对构树叶青贮品质的影响[J].饲料研究,2005,12(8):25–27.

[4] 朱琳,董朝霞,张建国.添加菠萝皮对构树叶青贮发酵品质及蛋白组分的影响[J].广东农业科学,2014,41(5):74–78.

[5] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy

Science,1991,74(10):3583–3597.

[6] 陶莲,冯文晓,王玉荣,等.微生态制剂对玉米秸秆青贮发酵品质、营养成分及瘤胃降解率的影响[J].草业学报,2016,25(9):152–160.

[7] 张晓庆,金艳梅,李发弟,等.麻叶荨麻与玉米粉混贮对青贮品质的影响[J].草业学报,2015,24(1):190–195.

[8] CHAMBERLAIN D G,QUIG J.The effects of the rate of addition of formic acid and sulphuric acid on the ensilage of perennial ryegrass in laboratory silos[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,1987,38(11):217–228.

[9] 陈鹏飞,白史且,杨富裕,等.添加剂和水分对光叶紫花苕青贮品质的影响[J].草业学报,2013,22(2):80–86.

[10] 韩雅珊.食品化学实验指导[M].北京:北京农业大学出版社,1996:26–29.

[11] PLAYNE M J,MCDONALD P.The buffering constituents of herbage and of silage[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,1966,17(6):264–268.

[12] 许庆方,周禾,玉柱,等.贮藏期和添加绿汁发酵液对袋装苜蓿青贮的影响[J].草地学报,2006,14(2):129–133,146.

[13] SELMER-OLSEN I.Enzymes as silage additives for grass clover mixtures[J].Grass and Forage Science,1994,49(3):305–315.

[14] ZHANG J G,KUMAI S.Effluent and aerobic stability of cellulose and LAB-treated silage of napier grass (*Pennisetum purpureum Schum*)[J].Asian-Australasian Journal of Animal Science,2000，8:1035–1188.

[15] 陈雷,原现军,郭刚,等.添加乳酸菌制剂和丙酸对全株玉米全混合日粮青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J].畜牧兽医学报,2015,46(1):104–110.

[16] LI M,ZI X J,ZHOU H L,et al.Effects of sucrose,glucose molasses and cellulase on

fermentation quality and *in vitro* gas production of king grass silage[J].Animal Feed Science and Technology,2014,197:206–212.

[17] LIMA R,LOURENÇO M,DÍAZ R F,et al.Effect of combined ensiling of sorghum and soybean with or without molasses and lactobacilli on silage quality and *in vitro* rumen fermentation[J].Animal Feed Science and Technology,2010,155(2/3/4):122–131.

[18] CHIOU P W S,CHANG S H,YU B.The effects of wet sorghum distillers' grains inclusion on Napiergrass silage quality[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2000,80(8):1199–1205.

[19] 张磊,邵涛.添加乙醇对象草青贮发酵品质的影响[J].草业学报,2009,18(2):52–59.

[20] SHAO T,OHBA N,SHIMOJO M,et al.Effects of addition of glucose and sorbic acid on the fermentationi quality of guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.) silage[J].Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University,2003,47(2):351–358.

[21] LINGVALL P,LÄTTENMÄE P.Influence of hexamine and sodium nitrite in combination with sodium benzoate and sodium propionate of fermentation and hygienic quality of wilted and long cut grass silage[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,1999,79(2):257–264.

[22] 贾东辉,杨雪莹.构树叶中黄酮成分分析和抗氧化活性的测定[J].职业与健康,2006,22(17):1352–1353.

[23] 李万仓.构树叶活性成分分析及抑菌作用研究[D].硕士学位论文.武汉:华中科技大学,2008.

[24] 董志浩,原现军,闻爱友,等.添加乳酸菌和发酵底物对桑叶青贮发酵品质的影响[J].草业学报,2016,25(6):167–174.

[25] 张新平,万里强,李向林,等.添加乳酸菌和纤维素酶对苜蓿青贮品质的影响(简报)[J].草

业学报,2007,16(3):139–143.

[26] COLOMBATTO D,HERVÁS G,YANG W Z,et al.Effects of enzyme supplementation of a total mixed ration on microbial fermentation in continuous culture,maintained at high and low pH[J].Journal of Animal Science,2003,81(10):2617–2627.

Influence of Different Additives on Fermentation Quality of Hybrid Paper Mulberry Silage

SI Bingwen[1] XU Wencai[2*] ZHANG Xiaoli[3] GUO Jiangpeng[4] DIAO Qiyu[1] TU Yan[1**]

(1. Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Beijing 100081*, China;* 2*. Beijing Jonathan Technology Development Co. Ltd., Beijing* 101309*, China;* 3*. Beijing Plant Protection Station, Beijing* 100029*, China;* 4*. Beijing Animal Husbandry Station, Beijing* 100029*, China*)

Abstract: The hybrid paper mulberry was used as a research object, and this study was to investigate the effects of molasses, composite enzyme bacteria and preservatives on the fermentation quality of hybrid paper mulberry silage. There were 5 groups: control group (CK group), composite enzyme bacteria group (M group), molasses group (TM group), composite enzyme bacteria group+ molasses group (MTM group) and preservatives group (FFJ group), with 3 repetitions in each group. Fermentation lasted for 60 d. The results showed as follows: 1) compared with the control, the pH in additive groups significantly decreased ($P<0.05$), whereas the content of lactate acid increased significantly ($P<0.05$). 2) Compared with the control, the NH_3-N/TN content in groups M, MTM and FFJ significantly decreased ($P<0.05$). The dry matter

* Contributed equally
**Corresponding author, professor, E-mail: tuyan@caas.cn (责任编辑 陈 鑫)

content in FFJ group was significantly higher than that in other groups ($P<0.05$), whereas, the pH and NH_3-N/TN content were significantly lower than those in other groups ($P<0.05$). 3) Compared with the control, the acid detergent fiber content in groups M and MTM decreased significantly ($P<0.05$). In conclusion, the application of molasses, composite enzyme bacteria and preservatives to the hybrid paper mulberry silage can improve the fermentation quality and nutritive value. Groups MTM and FFJ have low pH, good preservation of protein and dry matter, and FFJ group has the best results, but the MTM group has less cost.

Key words: hybrid paper mulberry; silage; additives